



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

VR-TARKASTELUSOLUN SUUNNITTELU

Matti Keituri

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Konetekniikka
Koneautomaatio



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

MATTI KEITURI:
VR-tarkastelusolun suunnittelu

Opinnäytetyö 48 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Huhtikuu 2018

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Comatecin Tampereen toimipisteelle kolmiulotteisten CAD-mallien VR-tarkastelusolu. Virtuaalitodellisuudella (Virtual Reality, VR) tarkoitetaan tietokonegrafiikalla luotua ympäristöä, jossa käyttäjä voi olla ympäristön kanssa vuorovaikutuksissa liikkumalla todellisessa ympäristössään.

Virtuaalitodellisuuden käyttö osana tuotesuunnittelua on alkanut kasvamaan tekniikan käytettävyyden parantuessa. VR:llä voidaan lyhentää CAD-suunnittelussa tehtävän mallin varmennukseen kuluva aikaa ja pienentää siten suunnittelutyön kustannuksia. Virtuaalitodellisuuden käyttö vähentää merkittävästi kustannuksia aloilla, joilla prototyyppien luominen on keskeinen osa mallin todennusprosessia.

Tarkastelusolun suunnittelutyössä laadittiin edellä mainitun toimeksiantajayrityksen tilan ja käyttökohteen kannalta VR-ohjelmiston tärkeimmät ja toissijaiset valintakriteerit. Suunnittelutyön osana mitoitettiin myös tarkastelusoluun käytettävän tietokoneen komponentit.

Suunniteltu tarkastelusolu otettiin käyttöön opinnäytetyössä toteuttamalla staattinen ja interaktiivinen VR-ympäristö CAD-suunnitteluohjelmalla luodulla mallilla. Luodulla ympäristöllä tutkittiin myös ohjelmiston ominaisuuksia ja soveltuvuutta mallin todennukseen. Tarkastelusolun suunnittelussa käytettiin opinnäytetyössä laadittua mallia sekä käyttöönotossa Comatecin laatimaa mallia. Opinnäytetyön julkisesta raportista poistettiin yrityksen luottamukselliset tiedot.

Projektin lopputuloksena luotiin onnistuneesti VR-tarkastelusolu, joka otettiin käyttöön ja käyttöönotettiin solu edellä mainituilla malleilla. Suurikokoista mallia käytettäessä ympäristön toiminta optimoitiin vähentämällä mallin vaatimaa suorituskyykyä ohjelmiston toiminnoilla. Opinnäytetyön avulla parannettiin myös yrityksen edustajien tietopohjaa VR-tekniikasta ja tekniikan mahdollisuuksista osana suunnittelutyötä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

MATTI KEITURI:
Design of a Virtual Reality examination cell

Bachelor's thesis 48 pages, appendices 4 pages
August 2015

The objective of this thesis was the designing and deployment of a Virtual Reality examination cell for three-dimensional CAD-models for the Tampere office of Comatec Oy. The term “Virtual Reality” means an environment produced with computer graphics, where the user can interact with objects in the environment by moving in the actual physical environment.

Usage of VR as a part of product designing has been rising in popularity. One reason for the rise has been the improved availability of the technology. VR can decrease the costs in the fields of industry where prototyping is an essential part of the product evaluation process.

In the design process, technical data were collected on five different head mounted displays and ten VR software. The selection of the examination cell's components was done according to a set of criteria which were based on the company's needs. The performance of the computer components used in the VR-examination cell was calculated as a part of the design process. Features of the software chosen for producing Virtual Environment was studied with a test model. The produced Environment was used later for examining the features and capabilities of the VR program for product authentication purposes.

As a result of this study, an examination cell design and a report on the capabilities of VR as a part of authentication process of 3D models were created. The design was deployed in the office of Comatec with a set of previously designed models. The thesis was used also to deepen the knowledge of Comatec representatives' about Virtual Reality and the possibilities of using the technology as a part of the design process.

Key words: vr, hmd, cad, virtual reality

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	COMATEC GROUP OY	7
3	TAUSTATIEDOT	8
3.1	CAD-SUUNNITTELU	8
3.2	VR, AR ja MR	9
3.3	CAD-MALLIN SIIRTO VR-OHJELMAAN	15
4	YRITYKSEN TARPEIDEN JA KÄYTTÖKOHTEIDEN SELVITYS	19
5	VR-KATSELUSOLUN SUUNNITTELU	20
5.1	VR-OHJELMAN VALINTA	21
5.1.1	SIMLAB COMPOSER 8 MECHANICAL	22
5.2	HMD-NÄYTTÖPÄÄTTEEN VALINTA	23
5.3	TIETOKONEEN KOMPONENTTIEN MITOITUS	25
5.4	TARKASTELUSOLUN KÄYTTÖÖNOTTO	26
6	TESTIYMPÄRISTÖN LUONTI	27
7	OHJELMAN TYÖKALUJEN ANALYSOINTI	31
8	POHDINTA.....	38
	LÄHTEET	41
	LIITTEET	45
	Liite 1. VR-ohjelmat ja kartoitetut ominaisuudet.....	45
	Liite 2. Polygonivähennyksen ja osien yhdistämistoiminnon testaustilanteen luonnos.....	48

LYHENTEET JA TERMIT

VR	Virtual Reality, Virtuaalitodellisuus
AR	Augmented Reality, Lisätty todellisuus
MR	Mixed Reality, Sekoitettu todellisuus
Stereoskopia	Kaksiulotteisilla kuvilla luotu syvyysvaikutelma
HMD	Head Mounted Display, Pään asetettava näyttöpäätte
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
CAD	Computed Aided Design, tietokoneavusteinen mallinnus
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
STEP	Standard for the Exchange of Product model data
VRML	Virtual Reality Modelling Language
X3D	XML-pohjainen tiedostomuoto
PMI	Product and Manufacturing Information, mallin tuote- ja valmistustiedot
SLI	Scalable Link Interface, näytönohjainliitäntä

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään insinööritoimisto Comatec oy:n Tampereen toimipisteen mekaniikkasuunnittelun osastolle CAD-mallien VR-tarkastelusolun suunnitteluvaiheet. Työn tavoitteina oli luoda valintakriteeristö tarkastelusolussa käytettävien laitteille ja ohjelmille sekä mitoittaa käyttötarkoitukseen soveltuva tietokone.

Virtuaalitodellisuuden eli VR:n käyttö osana mekaniikkasuunnittelua on kasvanut suosiossa viime vuosien aikana osalta tekniikan saatavuuden kasvaessa. VR-tekniikkaa käytettäessä voidaan luoda virtuaalinen malli suunniteltavasta kappaleesta tai kokonaisuudesta, jota käyttäjä voi tarkastella liikkumalla ja toimimalla todellisessa ympäristössään. VR:llä voidaan parantaa suunnittelutyön tehokkuutta merkittävästi.

Suunnittelutyössä kartoitettiin kuluttajamarkkinoille julkaistut käyttäjän päähän asetettavat näyttöpäätteet eli HMD:t sekä virtuaalitodellisuusympäristöjen luontiin käytettävät ohjelmistot. HMD:istä ja virtuaalitodellisuusohjelmista valittiin Comatec oy:n tarpeisiin soveltuvat yksilöt käyttökohteen ominaisuuksien ja kriteerien mukaan. Opinnäytetyön kartoitusvaiheen aikana mitoitettiin myös käyttötarkoitukseen soveltuva tietokone. Mitoitukseen käytettiin Tampereen ammattikorkeakoulun OpenLab-tilan VR-solun tietokoneen komponentteja, HMD:iden ja VR-ohjelmistojen valmistajien ilmoittamia suorituskykyvaatimuksia vertailukohteenä sekä VR-tarkastelusoluun käytettävien tietokoneiden valmistajien tietokoneiden teknisiä tietoja.

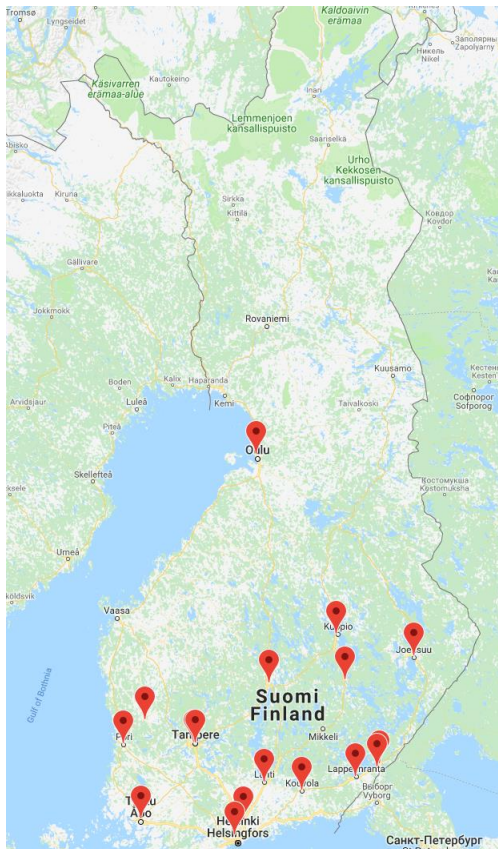
Valitun ohjelmiston työkaluja tutkittiin opinnäytetyössä laatimalla testausympäristö käyttäen suunnitteluohjelmistolla luotua kokoonpanomallia. Tutkinnassa selvitettiin työkalujen soveltuvuus mallin oikeellisuuden todentamiseen sekä suurten virtuaaliympäristöjen suorituskykyvaatimusten vähentämiseen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on VR-tarkastelusolun suunnittelun lisäksi esitellä VR-, AR- ja MR-tekniikkaa, VR-tekniikan käyttöä osana tietokoneavusteista mallinnustyötä, sekä tarjota aiheesta kiinnostuneille tietoa VR-laitteista ja CAD-mallilla tehdyn VR-ympäristön toteuttamisesta.

2 COMATEC GROUP OY

Comatec Group oy on Tampereella vuonna 1986 perustettu, pääsääntöisesti teknologiateollisuuden asiakkaille suunnittelu- ja asiantuntijapalveluita sekä projektinhallintapalveluita tuottava ja kehittävä insinööritoimisto. Comatec tarjoaa mekaniikka-, hydraulikka- ja automatiikkasuunnittelun lisäksi mm. lujuuslaskennan ja turvallisuustekniikan palveluita. (Comatec. 2018.).

Toimipisteitä yrityksellä on Suomessa 17:llä eri paikkakunnalla (kuva 1) sekä lisäksi lukuisissa kohteissa ulkomailla. Comatec Group toimii mm. ajoneuvo-, tuotanto- ja meriteollisuuden toimialoilla. Näiden toimialojen asiakkaina Comatec Groupilla ovat olleet mm. meriteollisuudessa toimiva ABB Marine, junavalmistaja CAF ja kuorma-autojen nostolavalaitteiden valmistaja Bronto Skylift. (Comatec. 2018.).



KUVA 1. Comatec Groupin Suomen toimipisteet. (Kuva: Comatec. 2018.).

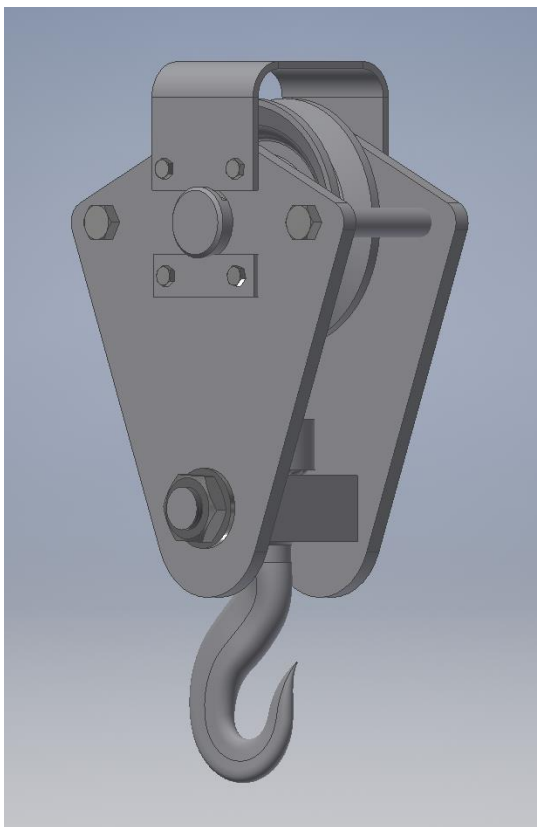
Comatec Groupin tytäryhtiö Insinööritoimisto Comatec oy toimii konsernin pääkonttorina, ja sen toimialoina ovat työkone-, ja henkilöajoneuvosuunnittelu sekä voimalaitos- ja automaatiosuunnittelupalvelut. (Comatec. 2018.)

3 TAUSTATIEDOT

Opinnäytetyö aloitettiin selvittämällä käyttökohteita, jossa Comatec tulee käyttämään VR-tekniikkaa osana CAD-suunnittelua. Käyttökohteiden ja tarkastelusolun mittojen avulla laadittiin laitteiden ja ohjelmien valintakriteerit. Osana tätä selvitystyötä perehdyttiin myös CAD-suunnitteluun, VR-tekniikkaan sekä VR:n käyttöön osana CAD-suunnittelua.

3.1 CAD-SUUNNITTELU

CAD on lyhenne sanakokonaisuudesta ”Computer Aided Design”, joka tarkoittaa tietokoneavusteista suunnittelua. CAD käsittää kaiken suunnittelutyön, jossa käytetään tietokoneohjelmistoja osana suunnittelua tai simulointia. CAD-ohjelmilla voidaan toteuttaa tarkka virtuaalinen malli suunniteltavasta kappaleesta tai monista kappaleista koostuvista kokoonpanoista (kuva 2) sekä niiden ominaisuuksista. (Tuhola, E. Viitanen, K. 2008).



KUVA 2. Autodesk Inventor-ohjelmalla tehty CAD-kokoonpano nostokoukusta. (Kuva: Matti Keituri. 2018)

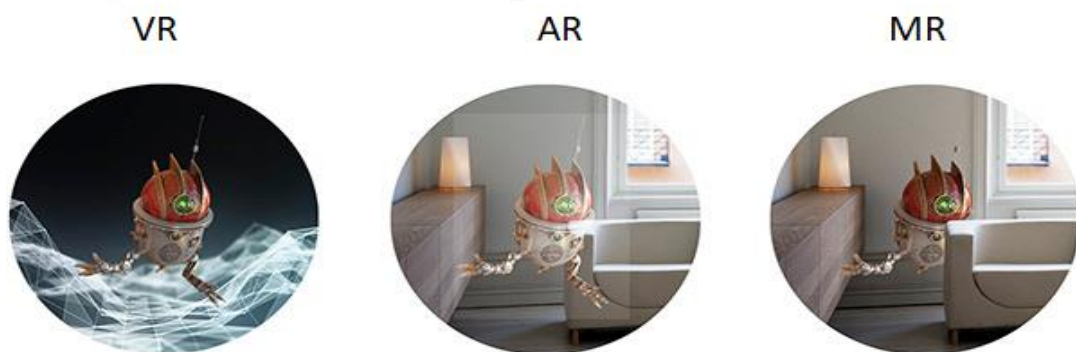
Mallien avulla voidaan suunnitella kappaleen tai kokoonpanojen valmistus kappaleiden raaka-ainevalinnoista kokoonpano-ohjeisiin ja tuotteen elinkaarianalysointiin.

CAD-malleja käytetään valmistusprosessien ja simulaatioiden luonnin lisäksi tuotteiden esittelyssä ja markkinoinnissa. Tuotteen esittely CAD-mallin avulla parantaa myyjän ja ostajan välistä kommunikointia ennen ostopäätöstä sekä vähentää sopivan tuotteen etsintään käytettävää aikaa. ThomasNetin teettämän tutkimuksen mukaan CAD-mallien käyttö osana markkinointia johtaa 80%:ssa tilanteista tuotteen ostoon. (Mitra, A. 2012)

CAD-mallien monimuotoisten käyttömahdollisuuksien vuoksi niiden esitystapa ja visualisointi ovat tärkeässä roolissa niin mallin todennuksessa kuin tuotteen markkinoinnissa. Uusina visualisointitapoina on tullut aiemmin pääsääntöisesti peli- ja viihdeteollisuudessa käytetty VR, AR ja MR (Scan2Cad. 2017).

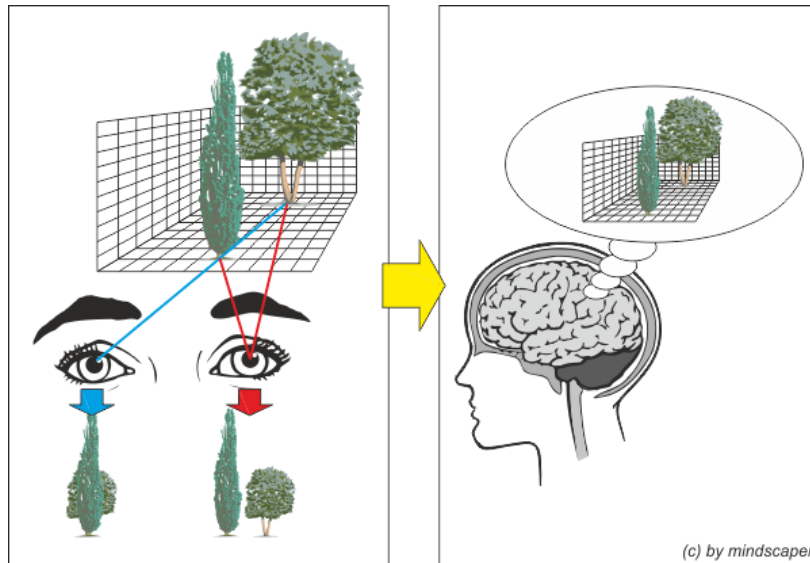
3.2 VR, AR ja MR

VR:llä, AR:llä ja MR:llä tarkoitetaan menetelmiä, joilla voidaan esittää tietokoneella tuotettua kolmiulotteista grafiikkaa käyttäjän näyttöpäätteen kautta. Lyhenteet ”VR”, ”AR” ja ”MR” tulevat englannin kielen termeistä Virtual Reality, Augmented Reality ja Mixed Reality, tarkoittaen virtuaalitodellisuutta, lisättyä todellisuutta ja sekoitettua todellisuutta. Eroa näillä tekniikoilla toisiinsa nähden on se, kuinka tietokonegrafiikkaa käytetään virtuaaliympäristön luonnissa: VR-tekniikassa käyttäjä näkee näyttöpäätteessään vain tietokonegrafiikalla tuotetun virtuaaliympäristön stereroskooppisena videosyötteenä, AR-tekniikassa grafiikka lisätään käyttäjän näkökenttään ja MR-tekniikassa grafiikka esitetään osana käyttäjän todellista ympäristöä. (kuva 4) (Next Reality. 2017)



KUVA 4. VR:n, AR:n ja MR:n eroavaisuudet (Metti, M. 2017. Muokattu.)

Stereoskopiolla VR:n suhteen tarkoitetaan tapaa luoda ihmiselle vaikutelma kolmiulotteisuudesta esittämällä mallinnetusta grafiikasta kaksiulotteisia kuvia käyttäjän vasemmalle ja oikealle silmälle eri kuvakulmasta (kuva 3) (Britannica. 1998.).



Stereoskopia ja virtuaalitodellisuus ovat konsepteina varsin vanhoja. Ensimmäisinä stereoskooppisina katselulaitteina voidaan mieltää Charles Wheatstonen vuonna 1838 suunnittelema stereoskooppi ja William Gruberin vuonna 1839 suunnittelema katselulaite nimeltään The View-Master. Näihin laitteisiin asetettiin kaksi kuvaa hieman eri kuvakulmasta otettuna, mitkä katselijat nähdessään yhdistivät syvyysvaikutteiseksi kuvaksi. Ensimmäinen sähkömekaaninen VR-laitteisto luotiin vuonna 1929 Edward Linkin toimesta. Laitteisto koostui lentokoneen rungon mallista, ohjausvälineistöstä ja moottoreista, joilla simuloitiin lentokoneen liikehdintää lennettäessä. (Virtual Reality Society. 2017.)

Modernia VR- ja AR-tekniikkaa hyödyntäviä laitteita kehiteltiin kuluttajamarkkinoille peliyhtiöiden kuten SEGA:n ja Nintendon toimesta jo 1990-luvulla, mutta VR-laitteiden suosio kuluttajamarkkinoilla alkoi kasvaa vasta 2010-luvun alussa Oculus Rift-lasien joukkorahoituskampanjan ja vuoden 2016 julkaisun myötä. (DigitalTrends. 2017.).

VR-katselulaitteet

Virtuaaliympäristöjen esittämiseen käytetään erikseen tähän käyttötarkoitukseen suunniteltuja laitteita. Tällaisia katselulaitteita ovat muun muassa HMD:t ja CAVE:t.

Lyhenne ”HMD” tulee englannin kielen sanoista Head Mounted Display, joilla tarkoitetaan käyttäjän päähän asetettavaa näyttöpäätettä (kuva 5). HMD:ssä tietokoneella tuotettu stereoskooppinen kuva toistetaan laitteessa olevista näytöistä ja muokataan linssien avulla sopivaksi. (Virtual Reality Society. 2017.).



KUVA 5. Head Mounted Display. (HTC 2018)

HMD:issä käyttäjän asemaa ja liikkeitä seurataan laitteeseen sisäänrakennettujen liike- ja kiihtyvyydsmittausyksiköiden eli inertiamittausyksikön avulla. Inertiamittausyksikkö koostuu asemaa ja kiihtyvyyttä mittaavista komponenteista kuten kiihtyvyyssantureista ja magnetometreista, joilla kerätään mittaustietoa HMD:n liikkeistä aiheutuvista voimista. Komponenttien mittaustiedot siirretään VR-ympäristön luovalle tietokoneelle, jossa mittaustiedot tulkitaan käyttäjän liikkeiksi. Inertiamittausyksiköllä voidaan mitata käyttäjän liikkeitä hyvällä tarkkuudella, mutta paikallaan olevaa käyttäjää seurattaessa mittaussyksikkö ei kykene yksinään määrittämään käyttäjän asemaa hyvällä tarkkuudella. (Gourlay. M. Held, R. 2017.).

Mittaussyksikön asematiedon virhe korjataan HMD:issä pääsääntöisesti kolmella tavalla: HMD:hen sisäänrakennetulla seurantajärjestelmällä eli Inside-Out-seurannalla, HMD:n ulkopuolelle asennettavilla seurantajärjestelmillä eli Outside-In-seurannalla tai näiden yhdistelmällä. (Gourlay. M. Held, R. 2017.).

Sisäänrakennettua järjestelmää käyttävissä HMD:issä laitteen etuosaan on lisätty kaksi mustavalkokameraa, joilla HMD muodostaa kuvan käyttäjän ympäristöstä. Seurantajärjestelmä käyttää kameroiden kuvassa näkyviä valoisia ja pimeitä kohtia, joiden liike kameroiden videosyötteessä tulkitaan HMD:n liikkeiksi. (Aaron, P. Wojciakowski, M. Zeller, M. 2017.).

Erillisiä seurantajärjestelmiä käyttävät HMD:t muodostavat käyttäjän asematiedon järjestelmästä riippuen joko seuraamalla HMD:ssä ja ohjaimissa olevia tunnistinvaloja tai lähettämällä keilamaisen infrapunapulssin HMD:n fotodiodisensoreihin eli valoaktivoituviin tunnistimiin (kuva 6).

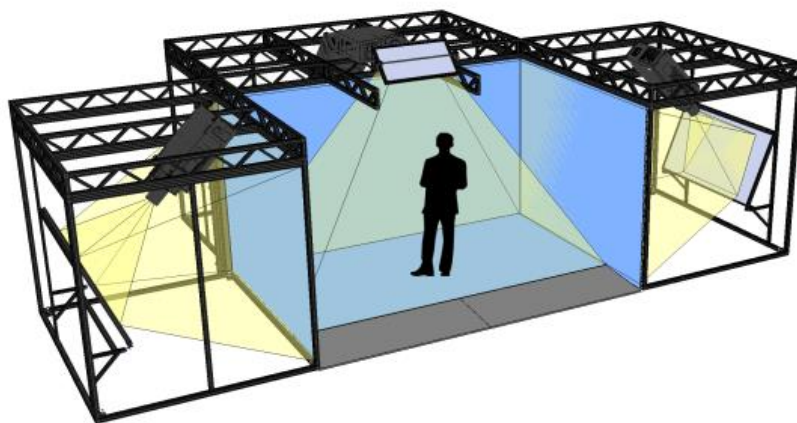


KUVA 6. Tunnistinvalojen (merkitty 1) ja infrapunapulssiin pohjautuva seurantajärjestelmä (merkitty 2). (Oculus. 2018. Digital Trends. 2017. Muokattu.).

Tunnistinvaloja käyttävässä järjestelmässä ulkopuoliset seurantajärjestelmät koostuvat kahdesta tai useammasta pisteseurantakamerasta (engl. Constellation Camera). Pisteseurantakamerat muodostavat pistekartan tunnistinvalojen paikan mukaan, johon viittaamalla tietokone tulkitsee tunnistinvalojen asemamuutoksen HMD:n liikkeeksi. (Wang, Q. 2017)

Valoaktivoituvia tunnistimia käyttävässä järjestelmässä ulkoiset sensorit koostuvat kahdesta laserpulssilähtimestä (engl. Lighthouse). Laserpulssilähtimissä pyörivät infrapunavalolähtimet lähettävät keilamaisen ja liikkuvan valopulssin. HMD:ssä olevat tunnistimet aktivoituvat valopulssin osuessa siihen, ja HMD alkaa laskemaan aikaa seuraavaan tunnistinten aktivoitumiseen. Tunnistimien mitatut ajat lähetetään VR-ohjelmaan, jossa niiden avulla ohjelma laskee HMD:n etäisyyden tunnistinasemasta. (Gourlay. M. Held, R. 2017.).

Lyhenne ”CAVE” tulee englannin kielen sanoista Cave Automatic Virtual Environment, tarkoittaen luolamaista, automatisoitua virtuaaliympäristöä. CAVE:ssa tietokoneella luotu VR-ympäristö heijastetaan projektoreilla ja peileillä käyttäjän ympärillä oleviin valkokankaisiin (kuva 7). (Muhanna, A. 2014. 352).



KUVA 7. VisCube C4-4K. (Visbox 2016)

VR:n käyttö CAD-suunnittelussa

Tuotteen mallinnustyö voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen: Lähtötietojen kartoitukseen, esivalmistelutyöhön ja CAD-mallin luontiin. (Tuhola, E. ym. 2008. 19–20.).

Lähtötietojen kartoituksessa aletaan muodostamaan luonnosta tilaustyöstä. Esivalmistelutyössä mallinnuksessa käytettävät järjestelmät säädetään asiakkaalle sopiviksi asiakkaan esitietojen avulla. Mallinnustyössä luodaan suunnitteluohjelmaan lähtötietojen pohjalta luonnoksia eli sketsejä. Sketsejä käytetään virtuaalisen mallin luontiin, joilla luodaan kokoonpanomalli. Luontityön aikana varmistetaan myös suunniteltujen mallien yhdenmukaisuus lähtötiedoissa laaditun luonnoksen kanssa. Mallinnustyön lopuksi kokoonpanosta ja sen osista luodaan tekniset piirustukset, jotka sisältävät kappaleen valmistukseen tarvittavien mittojen ja toleranssien lisäksi tarvittavat tuotetiedot sekä kokoonpanon osaluettelon. (Tuhola, E. ym. 2008. 19–20.).

VR-tekniikkaa käytettäessä osana suunnittelutyötä voidaan tarkastella suunniteltavaa tuotetta todellisissa mittasuhteissaan ja osana käyttöympäristöään ilman fyysisiä prototyyppiejä. Tuotteen todellisia olosuhteita mukailevalla virtuaalisella esitystavalla voidaan vähentää mallien todentamiseen kuluva aikaa, ja siten vähentää suunnittelutyön kustannuksia. (Develop3D. 2017)

Teollisuudenaloilla, joissa prototyyppien rakentaminen ja kokoonpanojen käyttäjäystävällisyys ovat suuressa roolissa mallin todentamisessa, VR-tekniikan käyttö osana suunnittelutyötä on kasvanut suuresti. PWC:n vuonna 2015 laatiman kyselyn mukaan 120:stä kyselyyn vastanneesta teollisuusalan yrityksestä 35,8% pyrkii lisäämään VR-tekniikan osaksi suunnittelutyötään vuoteen 2019 mennessä (PWC. 2016).

3.3 CAD-MALLIN SIIRTO VR-OHJELMAAN

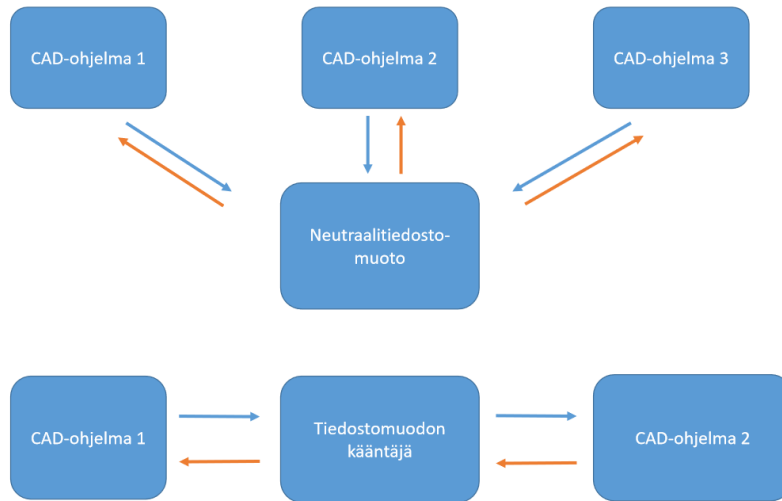
CAD-mallit ja kokoonpanot eroavat muusta tietokoneella tuotetusta kolmiulotteisesta grafiikasta näiden sisältämien liitännäistietojen ja mallinnustavan suhteen.

CAD-ohjelmistot käyttävät suoran mallinnuksen lisäksi parametristä mallinnusta kappaleiden luontiin. Parametrisessä mallinnuksessa kappaleelle ja sen osille määritetään tietyt ominaisuudet kuten mittatiedot ja kokoonpanon liitostiedot. Kokoonpanon muita ominaisuuksia muuttaessa sketseissä määritetyt parametrit säilyvät. Parametrisen mallinnuksen käyttö automatisoi muutostyötä suunnittelussa, mikä vähentää muutostyöhön kuluvaan aikaa. Suorassa mallinnuksessa määritetään vain kappaleen muoto- ja pintatiedot, jolloin mallin luontiin kuluu vähemmän aikaa. (Concurrent Engineering. 2013)

Mallin muototietojen lisäksi kappaleen valmistusta varten tarvitaan myös erilaisia ei-geometrisiä tietoja, joilla kuvataan kappaleen muodosta riippumattomia ominaisuuksia. Ei-geometriset tiedot ovat niin sanottuja PMI-tietoja. PMI on lyhenne englannin kielen sanoista ”Product and Manufacturing Information”, joilla tarkoitetaan mallin tuote- ja valmistustietoja. (Protolabs. 2017)

Jotta CAD-malli kaikkine ominaisuuksineen voidaan esittää samanlaisena VR-ympäristössä, kuin se on laadittu CAD-ohjelmassa, tarvitsee myös liitännäistietojen siirtyä CAD-ohjelmasta VR-ympäristön luovaan ohjelmaan. Tämä vaikuttaa siihen, millä tavalla CAD-malli voidaan muuntaa tiedostomuotoon, jota VR-ympäristön luova ohjelma voi lukea. (Lorenz. M. Spranger, M. Reidel, T. Pürzel, F. Wittstock, V. Klimant, P. 2016. 359–360).

CAD-malli ja sen sisältämät liitännäistiedot voidaan siirtää mallinnukseen käytetystä ohjelmasta muihin ohjelmiin kahdella tavalla: käyttämällä neutraalitiedostomuotoja tai tiedostomuodon kääntäjiä. (kuva 8) (Kuang-Hua, C. 2014. 297–298.).



KUVA 8. Neutraalitiedostomuotojen ja tiedostomuodon kääntäjien toimintaperiaate CAD-ohjelmien välisessä tiedonsiirrossa. (Kuva: Matti Keituri 2018)

Tiedostomuodon kääntäjillä tarkoitetaan väliohjelmaa tai ohjelman lisäosaa, joka muuttaa CAD-tiedoston toisen ohjelman tiedostomuotoon. Näitä tiedostomuodon kääntäjiä tarjoaa monet CAD-ohjelmistot ja CAD-tiedoston siirtoon järjestelmästä toiseen erikoistuvat ohjelmistot, kuten Proficiency ja TransMagic. (Kuang-Hua, C. 2014. 292–293, 289–290.).

Neutraalitiedostomuodoilla tarkoitetaan tiedostomuotoja, joita kaikki CAD-ohjelmat voivat lukea. Neutraalitiedostomuotoja on lukuisia, mutta CAD-malleja käyttävät ohjelmat tukevat niistä pääsääntöisesti seuraavia:

- STEP (Standard for the Exchange of Product model data)
- IGES (Initial Graphics Exchange Specification)
- STL (Stereolithography)
- VRML (Virtual Reality Modelling Language)
- DXF. (Kuang-Hua, C. 2014. 297–298.).

Edellä mainitut neutraalitiedostomuodot soveltuvat parhaiten mallin muuntotavan ja käyttökohteen mukaan eri tilanteisiin. Neutraalitiedostomuodoista CAD-ohjelmasta VR-ympäristön luovaan ohjelmaan siirtäessä oleelliset tiedostomuodot ja niiden ominaisuudet on esitetty seuraavassa taulukossa (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Neutraalitiedostomuotojen tuetut ominaisuudet. (Klimant, P. ym. 2016.).

Tiedostomuoto	JT	STEP	IGES	VRML
Kappaleen muoto	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Materiaalit	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Tekstuurit	Kyllä	Ei hyödynnetä	Ei	Kyllä
Animaatiot	Ei	Ei hyödynnetä	Ei	Kyllä
Kokoonpanon osien liikerajoitteet	Ei	Ei hyödynnetä	Ei	Rajallisesti
Kinemaattiset suhteet	Ei	Ei hyödynnetä	Ei	Rajallisesti

CAD-mallia muutettaessa VR-ohjelmiston tukeväksi tiedostoksi voidaan käyttää kaikkia edellä mainittuja tiedostomuotoja ohjelmiston tiedostotuen mukaan. CAD-ohjelmassa määritettyjä dynaamisia suhteita hyödynnettäessä VR-ympäristön luontiin tarvitaan kokoonpanon muoto- ja materiaalitietojen lisäksi osien kinemaattisten suhteiden sekä liikerajoitteiden tiedot. Dynaamisen ympäristön luontiin VRML-tiedostomuotoa tai VRML:stä kehitettyjä tiedostomuotoja käyttämällä saadaan siirrettyä suurin osa tarvittavista liitännäistiedoista. (Klimant, P. ym. 2016.).

4 YRITYKSEN TARPEIDEN JA KÄYTTÖKOHTEIDEN SELVITYS

Laitteiston ja ohjelmiston kartoitusvaihetta ennen selvitettiin yrityksen tarve VR-katselusolulle sekä sille halutut ominaisuudet. Comatec:n Tampereen toimisto tarjoaa suunnittelupalveluita ajoneuvo- ja työkoneteollisuuden asiakkailleen, jolloin VR-tarkastelusolua käytettäisiin myös mallien asiakasesittelyihin.

Tarpeiden ja käyttökohteiden selvitykseen haastateltiin osaston suunnittelijoita ja esimiehiä. Suunnittelupäällikkö Suvi Petäjäjärven (2017) mukaan CAD-mallien suunnitteluun Comatec:llä käytetään Inventor-, Solidworks-, CATIA-, ja NX-ohjelmistoja.

VR-ympäristön luontiin käytettävien ohjelmien ja laitteiden valinta tehtiin tutkimalla käyttökohteen ja -tilan kannalta oleellisimpia ominaisuuksia ja teknisiä tietoja. Tutkintaan käytettiin valmistajien ja ohjelmistotalojen internetsivuilla esitettyjä teknisiä tietoja, VR-ohjelmien kokeilulisenssejä, sekä haastateltiin yritysten edustajia. Ominaisuuksista ja teknisistä tiedoista valittiin työn lopputuloksen määräävät tiedot, jotka loivat valintakriteerit. Comatec:n VR-katselusoluun käytettävä tietokone mitoitettiin käyttämällä valitun ohjelmiston ja laitteiden valmistajien sivuilla esitettyjä tietokoneen suorituskykyvaatimuksia sekä TAMK:n VR-katselusolun tietokonetta vertailukohteenä. TAMK:n katselusolun tietokoneen lisäksi valittuja komponentteja vertailtiin VR-tarkastelusolujen tietokoneita valmistavien yritysten malleihin.

5 VR-KATSELUSOLUN SUUNNITTELU

VR-tarkastelusolun suunnittelu aloitettiin luomalla solun luonnos sille varatun tilan mittojen mukaan. Luonnoksen ja yrityksen tarpeiden mukaan alettiin laatimaan solussa käytettävien laitteiden ja ohjelmien valintakriteerejä. Laadittujen kriteerien pohjalta valittiin soveltuvat katselulaitteet sekä VR-ympäristön luontiin käytettävä ohjelma. Koska työssä tutkitut ohjelmat tukivat kuluttajamarkkinoilla myytäviä katselulaitteita vaihtelevasti, valittiin katselulaite ja ohjelma samanaikaisesti.

Suunnittelutyön lopuksi mitoitettiin katselusolussa käytettävän tietokoneen komponentit. CAD-mallin koko ja siihen kuuluvien osien lukumäärä vaikuttivat VR-ympäristön luontiin käytettävän tietokoneen suorituskykyvaatimuksiin. Tämän vuoksi tietokoneen komponentit mitoitettiin vertailemalla niiden suorituskykyä TAMK:n katselusolun tietokonekomponenttien suorituskykyyn.

Seuraavissa kappaleissa esitellään suunnittelutyössä käytetyt valintakriteerit ja kriteerien pohjalta tehdyt valinnat, sekä solun tietokoneen mitoituksen ja tarkastelusolun käyttöönoton työvaiheet.

5.1 VR-OHJELMAN VALINTA

VR-ohjelman esitiedoiksi työn alussa määriteltiin yrityksen käyttämän CAD-ohjelmistot ja VR-ohjelman nopea sekä helppo käyttö. Näiden lisäksi esitietoja määrittäessä nähtiin hyödylliseksi CAD-ohjelmassa määritettyjen liitännäistietojen kuten tekstuurien käyttö virtuaaliympäristössä. Esitietojen pohjalta laadittiin seuraavat valintakriteerit VR-ohjelman valinnalle:

- Tuetut CAD-ohjelmat ja neutraalitiedostomuodot
- CAD-ohjelmassa määritettyjen ominaisuuksien käyttö virtuaalitodellisuudessa
- Ohjelman helppokäyttöisyys
- CAD-mallin nopea siirto ohjelmaan
- Mahdollisimman vähän välivaiheita mallin siirrossa
- Lisenssin hinta.

VR-ohjelman tutkinnan lopputulokset ovat esitetty työn lopussa (liite 1). Ensisijaisina kriteereinä valinnassa käytettiin CAD-ohjelmien suoraa tukea ja tuettuja neutraalitiedostomuotoja sekä ohjelmassa määritettyjen ominaisuuksien käyttöä virtuaaliympäristössä. VR-ohjelmaa käytetään yrityksessä osana sekä suunnittelutyötä, että mallien esittelyä asiakkaille, minkä vuoksi VR-ohjelman yksinkertainen ja nopea käyttö todettiin myös valinnan kannalta oleelliseksi.

Työssä tutkitut VR-ohjelmat voidaan jakaa kolmeen tyyppiin: CAD-ohjelmaan liitettäviin lisäosiin, erillisiin VR-ympäristöjen luontiohjelmiin sekä CAD-ohjelman ja HMD:n välisiin yhteysohjelmiin. Lisäosaohjelmat luovat VR-ympäristön CAD-ohjelman sisällä, erillisiin luontiohjelmiin siirretään mallit joko CAD-ohjelman tiedostomuodossa tai neutraalitiedostomuodon avulla, ja HMD:n yhteysohjelmat luovat stereoskooppisen videosyötteen CAD-ohjelman näkymästä. Ominaisuuksiltaan erilliset luontiohjelmat sekä yhteysohjelmat sopivat valintakriteerien suhteen lisäosaohjelmia paremmin.

Soveltuvimmiksi vaihtoehtoiksi määrittyivät Visionary Render, Simlab Composer 8 Mechanical, TechViz XL ja Virtual Universe Pro 3. Edellä mainituista vaihtoehtoista valittiin Simlab Composer 8 Mechanical VR-ympäristön luontinopeuden, lisenssin hinnan ja helppokäyttöisyyden vuoksi.

5.1.1 SIMLAB COMPOSER 8 MECHANICAL

Simlab Composer 8 Mechanical on kolmiulotteisten mallien simulointiin ja visualisointiin erikoistunut grafiikkaohjelmisto. Virtuaaliympäristöjen luonnin lisäksi ohjelmistoa voidaan käyttää mm. CAD-mallien liikesimulointiin ja kappaleiden realistiseen kuvantamiseen. Liikesimulointien avulla voidaan lisätä luotuihin VR-ympäristöihin käyttäjästä riippuvaisia toiminnallisuksia, kuten vuorovaikutteisia animaatioita.

Mallin siirto CAD-ohjelmasta Simlab Composeriin tapahtuu kahdella tavalla: Käyttämällä CAD-ohjelmaan asennettavaa lisäosaa tai neutraalitiedostomuodon avulla. Lisäosasiirtoa käytettäessä voidaan mallin lisäksi siirtää CAD-ohjelmassa määritellyjä materiaalitietoja ja simulaatiotyökalulla tehtyjä liiketarkasteluja. Lisäosalla voidaan yhdistää Composer ja CAD-ohjelma, jolloin CAD-ohjelmassa tehdyt mallin muutokset voidaan siirtää reaaliajassa Composerin VR-ympäristöön. CAD-mallit muutetaan Composerissa pintakuviokappaleiksi.

Pintakuviointi

Pintakuviointissa mallin pinnan muodot jaetaan säännöllisiin peruselementteihin. Pintakuviokappaleen peruselementteinä käytetään monikulmioita eli polygoneja. Monikulmiot esitetään grafiikkaohjelmistolle käyttäen kahta kuviota kuvailevaa tietoa: Kuvion geometrisiä tietoja ja topologisia tietoja. Geometrisillä tiedoilla tarkoitetaan monikulmion kärkien sijaintia ja topologisilla tiedoilla kärkien välisiä yhteyksiä eli monikulmion sivuja. (Power, K. 2012)

Peruselementtien määrä kappaleessa määrittää, kuinka pieniin osiin mallinnettava kappale jaetaan, ja siten kappaleen yksityiskohtaisuuteen (kuva 10). Kasvatettaessa peruselementtien määrää myös mallinnuksessa käsiteltävien parametrien määrä kasvaa, lisäten grafiikkaohjelman laskentatehovaatimuksia. (Incredible Graphics. 2016)



KUVA 10. Peruselementtien määrän vaikutus kuvan yksityiskohtaisuuteen (Polygon 2013. Muokattu.).

5.2 HMD-NÄYTTÖPÄÄTTEEN VALINTA

Osana tämän työn tavoitteita oli selvittää Suomen kuluttajamarkkinoilla julkaistuista HMD:istä Comatec:n tarpeisiin soveltuvin malli. Alkutiedoiksi asetettiin VR-katselusolun mitat ja tilanteet, joissa laitteistoa käytetään. Tietojen pohjalta HMD:n valintakriteereiksi laadittiin seuraavat laitteiden tekniset tiedot:

- Näyttötyyppi
- Näyttöjen resoluutio
- Käyttösovellus
- Käyttäjän seurantaan suositellun alueen koko
- Käyttäjän seurantaan ilmoitettu alueen vähimmäiskoko
- Käyttäjän liikkeiden seurantaan käytetty tunnistin.

Valintakriteereistä ensisijaisina käytettiin seuranta-alueen vähimmäiskokoa, HMD:n käyttösovellusta ja seurantaan käytetty tunnistinta. HMD:n näyttöjen kuvanlaatuun vaikuttavat tekniset tiedot kuten näytön tyyppi ja resoluutio valittiin työn kannalta toissijaisiksi valintakriteereiksi. Valintaa varten HMD:iden tekniset tiedot taulukoitiin valintakriteerien suhteen (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Kartoitetut HMD:t sekä niiden tekniset tiedot.

HMD	HTC Vive	Oculus Rift	Razer HDK 2	Acer Windows MR	Lenovo Explorer
Näyttö	OLED	OLED	OLED	LCD	LCD
Resoluutio	2160 x 1200	2160 x 1200	2160 x 1200	2880 x 1440	2880 x 1440
Käyttösovellus	SteamVR, Viveport	SteamVR, Oculus Home	OSVR	SteamVR	SteamVR
Seuranta-alue (suositeltu)	4,5 x 4,5 m	1,5 x 1,5 m	2,5 x 2,8 m	3,5 x 3,5 m	3,5 x 3,5 m
Seuranta-alue (vähimmäis)	1,9 x 1,5 m	2 x 1,5 m	(Ei ilmoitettu)	3,5 x 3,5 m	3,5 x 3,5 m
Tunnistin	Valoaktivoituvat tunnistimet	Pisteseuranta-kamera	Pisteseuranta-kamera	Sis. rakennettu kamera	Sis. rakennettu kamera

Tutkittujen tietojen pohjalta soveltuvimmiksi vaihtoehtoiksi lukeutuivat Oculus Rift ja HTC Vive. Oculus Riftin pisteseurantakameran horisontaalinen näkökenttä on 100° ja vertikaalinen näkökenttä 75° , mikä aiheuttaa HMD:n seurantaan katvealueen n. 0,5 m:n etäisyydellä tunnistimesta (Oculus. 2017). Kahdesta mainitusta vaihtoehdosta valittiin HTC Vive. Syyt valinnalle olivat edellä mainitun katvealueen lisäksi ohjainten soveltuvuus, seurantaan käytetyt tunnistimet sekä seuranta-alueen rajojen ja alueella olevien esteiden tunnistukseen käytetty tekniikka.

5.3 TIETOKONEEN KOMPONENTTIEN MITOITUS

Tarkastelusolussa käytettävän tietokoneen komponenttien mitoitus aloitettiin tutkimalla HMD:iden ja VR-ohjelmistojen valmistajien internetsivuilta löytyviä suositeltuja laitteistovaatimustietoja. Näitä tietoja vertailtiin vuosina 2016–2018 julkaistujen komponenttien suorituskykytietoihin sekä TAMK:n VR-katselusolun tietokoneen suorituskykytietoihin. Suorituskykytietojen vertailuun käytettiin PassMark-sivustolle laadittuja vertailulukuja kuten CPU Mark- ja G3D Mark-lukuja. Valittuja komponentteja verrattiin myös VR-katselusoluihin soveltuvien tietokoneiden valmistajien käyttämiin komponentteihin.

CPU Mark-luvut määritetään prosessoreille suorittamalla sille sarja rasituskokeita kuten alkulukujen laskentaa ja datan pakkauskokeita. Näytönohjainten G3D Mark-luvut määritetään samalla periaatteella kuin CPU Mark-luvussa. Laskenta- ja pakkauskokeiden sijaan G3D Mark-luvun rasituskokeissa testataan näytönohjaimen kyvykkyyttä toistaa monista kappaleista ja polygoneista koostuvia kokonaisuuksia. (PassMark. 2018.).

Edellä mainittuja mitoitusapoja käyttämällä valittiin katselusolun tietokoneeksi Dell Precision 5820 Tower. Tietokoneeseen vaihdettiin Nvidia NVS 310-näytönohjaimen tilalle kaksi Nvidia Quadro P4000-ohjainta. Seuraavassa taulukossa on esitetty katselusolun tietokoneen komponentit (taulukko 3).

TAULUKKO 3. VR-katselusolun tietokoneen komponentit

Komponentti	Malli
Proessori	Intel Xeon W-2125
Näytönohjain	Nvidia Quadro P4000 (2 kpl)
Emolevy	Intel ACHI-kontrolleri
RAM-muisti	64 GB
Kiintolevy	500 GB
Virtalähde	950 W

Näytönohjaimet kytketään SLI-liitännällä, jolloin molemmat näytönohjaimet prosessoivat HMD:n yhden näytön videokuvan. SLI-liitännän käytöllä voidaan vähentää yksittäisen näytönohjaimen laskentakykyvaatimuksia. (Nvidia. 2018.).

5.4 TARKASTELUSOLUN KÄYTTÖÖNOTTO

Tarkastelusolua (kuva 11) varten varattiin leveydeltään ja pituudeltaan kahden metrin alue. HTC Viven laserlähettimet sijoitettiin kahdella Falcon Eyes I 2001-salamajalustalla tarkastelusolun vastakkaisiin kulmiin kahden metrin korkeuteen. Käyttäjän liikkuma-ala rajoitettiin n. 0,2–0,5 metrin päähän ympärillä olevista esteistä laitteiden turvallisen käytön varmistamiseksi. Liikkuma-alan rajoitukseen käytettiin Viven Chaperone-järjestelmää. Virtuaaliympäristön todelliseksi liikkuma-alaksi määritettiin pituudeltaan 1,7 metrin ja leveydeltään kahden metrin alue.



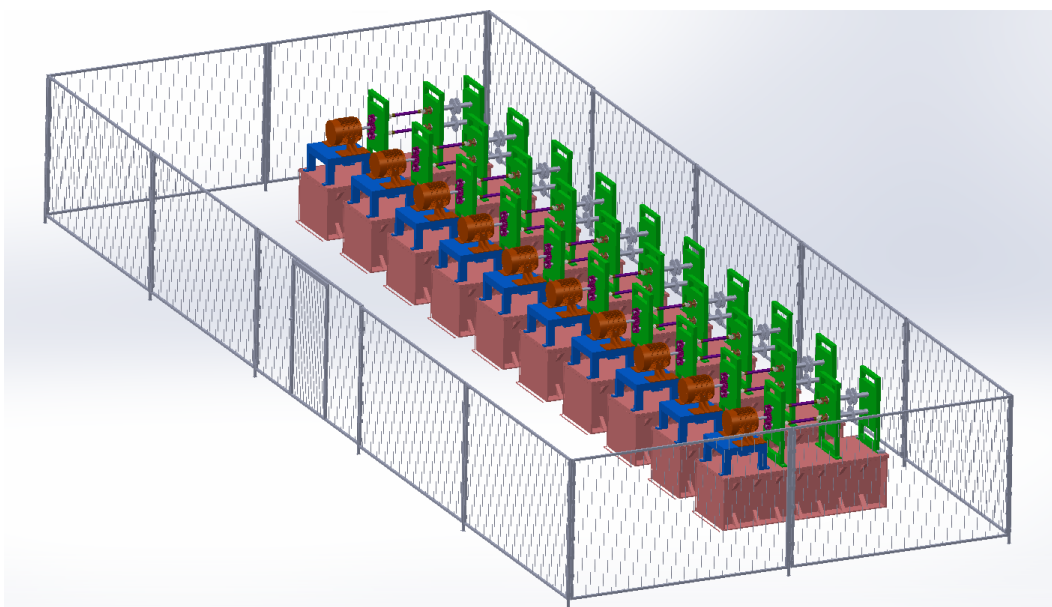
KUVA 11. Käyttöönotettu tarkastelusolu (Kuva: Matti Keituri 2018)

6 TESTIYMPÄRISTÖN LUONTI

Virtuaaliympäristön luontiin käytettävän ohjelmiston tutkinta aloitettiin suunnittelemalla CAD-mallit, joilla voitiin testata ohjelmiston työkaluja sekä suorituskykyä. Suunnittelutyö aloitettiin asettamalla malleille vaatimukset, joilla voidaan todentaa tarkastelusoluun mitoitettun tietokoneen riittävä suorituskyky sekä mallin siirrossa tutkittavat ominaisuudet.

CAD-malli

Testiympäristön luonnissa käytettiin mallina Solidworks-ohjelmalla luotua profiilikoneen kokoonpanomallia (kuva 12). Profiilikoneella voidaan valmistaa kylmämuovaamalla teräskelasta avoprofiilikappaleita (SadeF. 2018.).



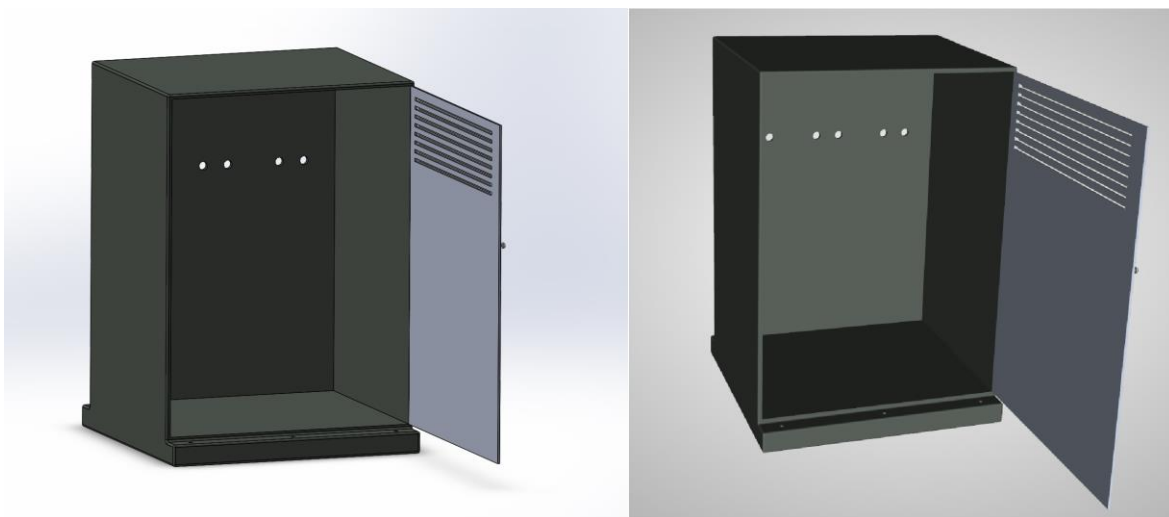
KUVA 12. Virtuaaliympäristössä käytetty kokoonpanomalli (Kuva: Matti Keituri 2018)

Työssä käytetty profiilikoneen malli koostuu kymmenestä kylmämuovausrullastosta ja turva-aidasta. Kylmämuovausrullastossa on kaksi akseloitua muotorullastosta, joita pyörittää pöydän päällä oleva moottori. Moottorien voimansiirto tapahtuu kolmella lieriöhammaspyörällä, jotka siirtävät moottorin navan pyörintäliikkeen rullastoille kardaaniakselien avulla. Kardaaniakseli ja muovausrullasto ovat yhdistetty mallissa laippojen ja akselien avulla. Laipat ovat kiinnitetty toisiinsa yhteensä neljällä ruuvilla. Akselit ja päätyseinät ovat mallissa laakeroitu rullalaakereilla, ja päätyseinät kiinnitetty kahdella kuusiokoloruuvilla.

Kokoonpano koostuu yhteensä 1275 kappaleesta osia sekä yhteensä n. 47 miljoonasta toistettavasta polygonista. Osille määritettiin eri materiaalitiedot Solidworksissa, joilla tarkastettiin Simlab Composerin materiaalien toistokvykykyys.

Mallin tärkeimpinä ominaisuuksina tiedoston siirron toimivuuden testaamiseksi oli käytettyjen kappaleiden lukumäärä ja yksityiskohtaisuus. Toistettavien kappaleiden suuri lukumäärä ja yksityiskohtaisuus lisäsi toistettavien polygonien määrää, joka vaikutti tietokoneen komponenttien suorituskvykyvaatimuksiin. Osien mitat ja toleranssitiedot eivät vaikuttaneet VR-ohjelman toimivuuteen tai tietokoneen suorituskvykyvaatimuksiin, minkä vuoksi kylmämuovausrullaston mittatarkkaa mallintamista ei ollut työn kannalta oleellista määrittää.

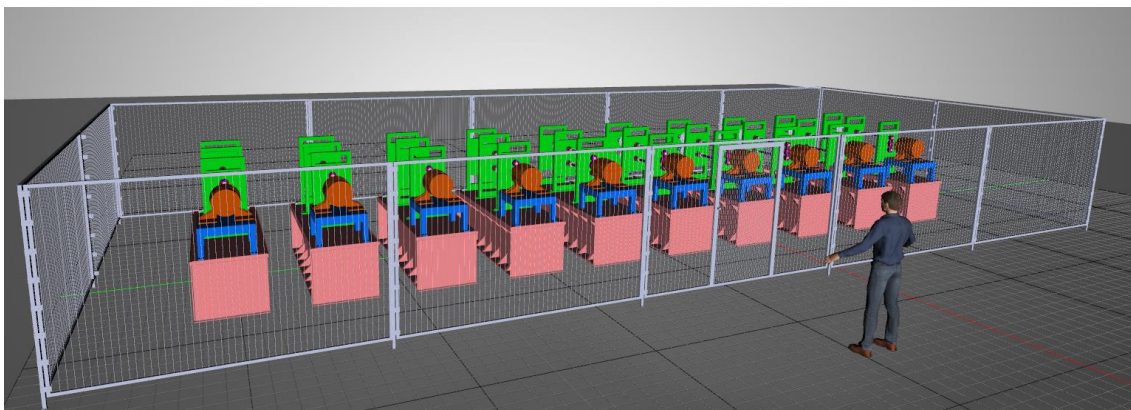
Muilla opinnäytetyön tavoitteissa määritellyillä CAD-ohjelmilla (Inventor, CATIA, NX) testattiin mallin siirto käyttäen lisäosaa tai neutraalitiedostomuotoa. Mallia siirrettäessä Inventorista Composeriin käytettiin Simlabin lisäosaa, CATIA:sta ja NX:stä siirrettäessä käytettiin STEP-, ja VRML-pohjaista 3DXML-tiedostomuotoa. Neutraalitiedostomuotoja käytettäessä mallin mukana siirtyi tekstuuritiedot ja tieto osien erillisyydestä (kuva 13).



KUVA 13. CAD-mallin siirto Composeriin neutraalitiedostomuotoa käyttäen. (Kuva: Matti Keituri 2018)

VR-ympäristö

Työssä käytetty VR-ympäristö luotiin yhdistämällä Solidworks ja Composer 8 lisäosan avulla, jotta malliin tehtävät muutokset saatiin siirrettyä luotuun ympäristöön samanaikaisesti. Ominaisuuksien tutkinta aloitettiin luomalla mallin pohjalta staattinen ympäristö (kuva 14): Ympäristössä määriteltiin sallittu liikkuma-ala ja lähtösijainti.



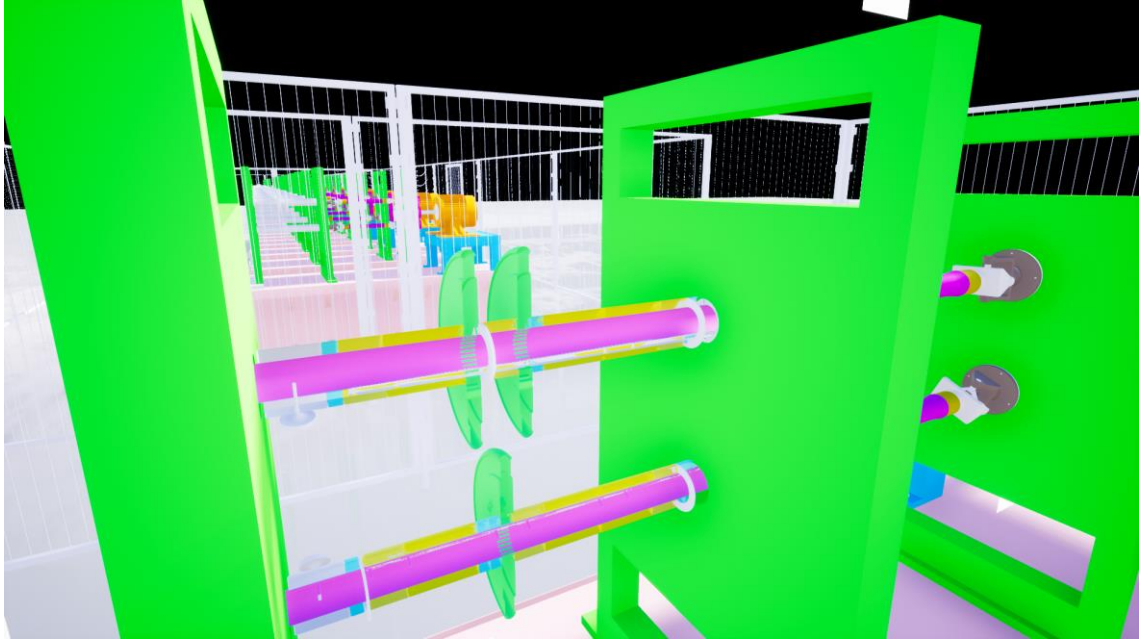
KUVA 14. Luotu staattinen VR-ympäristö. (Kuva: Matti Keituri 2018).

Ympäristöön lisättiin käyttäjästä riippuvaisia toiminnallisuuksia kuten turvaovien avausmekanismi, kokoonpanon purku- ja kasaustoiminnot (kuva 14) sekä kylmämuovausrullaston poikkileikkaustarkastelu. Toiminnallisuudet lisättiin käyttäen ohjelmiston toimintotyökaluja, joissa voitiin määrittää kokoonpanosta tietyt osat. Osiossa B näkyvä sininen linja esittää Composerissa määritellyn oven maksimiavauskulman.



KUVA 15. Kokoonpanon purkutoiminto (Osio A) ja turvaovien avausmekanismi (Osio B). (Kuva: Matti Keituri 2018)

Poikkileikkaustarkastelu (kuva 16) luotiin käyttämällä Composerin Clipping Plane-leikkaustasoa ja määrittämällä luodulle leikkaustasolle liikerata animaatiotyökalulla. Ohjelmaan määritettiin poikkileikattaviksi kappaleiksi muotorullaston osat, jolloin poikkileikkaustarkastelu ei vaikuttanut turva-aitaan ja rullaston alustaan.



KUVA 16. Poikkileikkaustarkastelu. (Kuva: Matti Keituri 2018)

7 OHJELMAN TYÖKALUJEN ANALYSOINTI

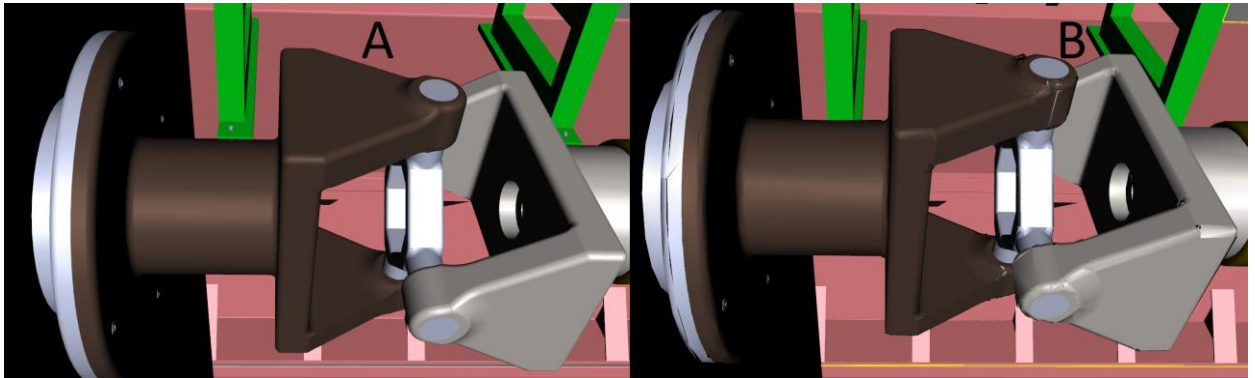
Luodulla VR-ympäristöllä tutkittiin myös Composer 8:n soveltuvuutta mallin todennukseen, sekä ohjelman kyvykkyyttä toistaa suuria kokoonpanoja. Tutkinnassa käytettiin kappaleessa 5 esitettyä poikkileikkaustoimintoa sekä mallin suorituskykyvaatimusten vähentämiseen käytettäviä työkaluja. Suorituskyvyn optimointia analysoidessa tutkittiin grafiikkavaatimuksia vähentävien työkalujen vaikutusta videokuvan päivitystaajuuteen sekä mallin osien ulkonäköön. Mallin todennukseen käytettäviä työkaluja tutkittiin ympäristöön asetettujen mittavirheiden avulla. Tutkinnan lopussa selvitettiin toiminoille mahdollisia sopivia käyttökohteita.

Suorituskyvyn parantaminen

Suurikokoista kokoonpanoa toistettaessa HMD:lle syötettävän videon virkistystaajuus voi laskea suuren polygonimäärän vaikutuksena. Videokuvan virkuistystaajuus vaikuttaa suuresti VR:n käytön mukavuuteen ja selkeyteen: Alhainen taajuus kasvattaa videokuvan viivettä, mikä voi aiheuttaa käyttäjälle fysiologisia oireita kuten liikkeestä johtuvaa pahoinvointia (Brooks, F. Meehan, M. Razzaque, S. Whitton, M. 2003.). Logical Incrementsin mukaan HMD:iden valmistajat suosittelevat päivitystaajuuden vähimmäisarvoksi 90 kuvaa sekunnissa VR-ympäristön tasaisen käytön varmistamiseksi (Logical Increments. 2018.).

Ympäristön toimivuutta voidaan Composerissa parantaa vähentämällä toistettavien polygonien määrää ”Mesh Decimation”-toiminnoilla. Toiminto yhdistää kappaleen vierekkäisiä pintakuvioita toisiinsa, jolloin mallinnettavien parametrien määrä vähenee. Toiminnoilla voidaan vähentää VR-ympäristön suorituskykyvaatimuksia, mutta se vaikuttaa myös mallin yksityiskohtaisuuteen. Toiminnon vaikutusta mallin ulkonäköön testattiin vähentämällä 20, 40, 50, 60 ja 80 prosenttia mallin kokonaispolygonimäärästä.

Seuraavassa kuvassa on esitetty Mesh Decimation-toiminnon vaikutus mallin ulkonäköön (kuva 17).



KUVA 17. Malli 60%:n polygonivähennystä ennen (Osio A) ja jälkeen (Osio B).

(Kuva: Matti Keituri 2018)

Kuvasta voidaan havainnoida, että polygonien vähennys vaikuttaa eniten mallin pyöreisiin muotoihin kuten reunojen pyöristyksiin. Polygonivähennyksen käyttö ympäristön toimivuuden parantamiseksi vähensi tietokoneen komponenttien rasitusta toistettaessa mallia VR:llä, mutta mallin pyöreiden muotojen toistettavuus huononi. Mallin tekstuureissa esiintyi reikiä, kun polygoneja vähennettiin yli 60%:a. 50%:n vähennystä tutkittaessa tekstuurireikiä ei esiintynyt. Edellä mainittujen havaintojen perusteella pääteltiin, että ”Mesh Decimation”-toimintoa käytettäessä suorituskyyvaatimusten optimointiin 50%:n polygonivähennyksellä mallin muoto voitiin säilyttää toistettavuuden kannalta hyvällä tarkkuudella.

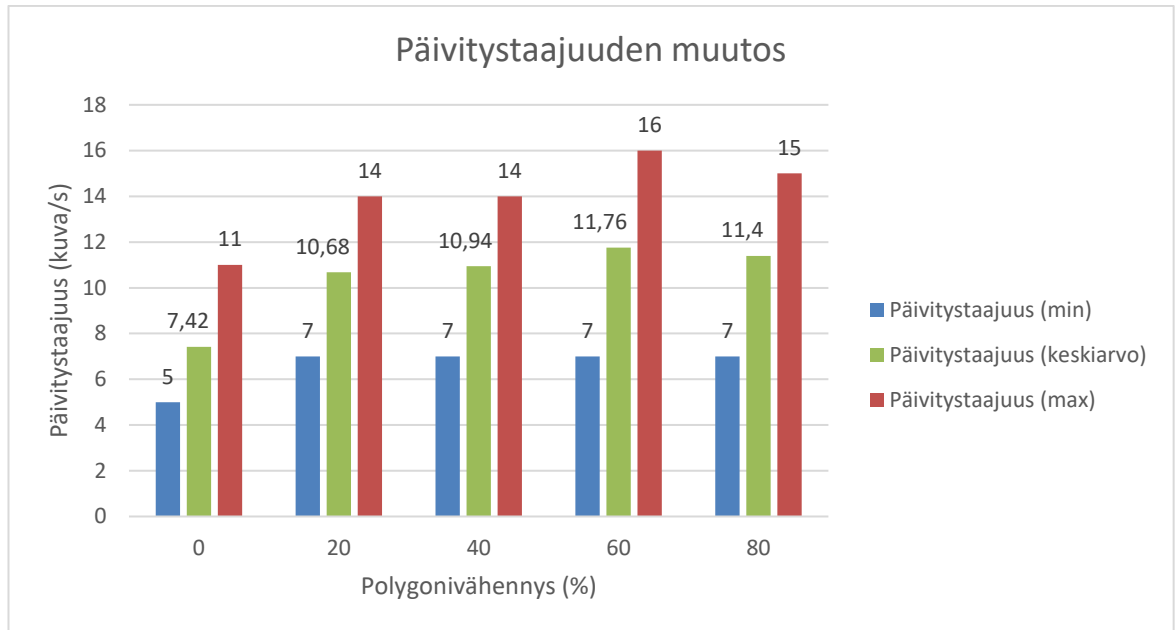
Toiminnon vaikutusta videokuvan päivitystaajuuteen tutkittiin vähentämällä 20, 40, 60 ja 80% kokoonpanon polygonimäärästä. Polygonivähennyksen vaikutus tutkittiin monistamalla kokoonpano kaksi kertaa. Monistamalla profiilikoneen malli saatiin toistettavien polygonien määrä n. 47 miljoonasta polygonista n. 141 miljoonaan, jolloin polygonivähennyksen vaikutus videokuvan päivitystaajuuteen oli paremmin nähtävissä mittaustuloksista. Koetilanteen luonnos on esitetty työn lopussa (liite 3). Koetilanteessa kolmelle profiilikoneen kokoonpanolle laadittiin animaatio, jossa malleja pyöritettiin yhteisen keskiakselin ympäri myötäpäivään. Päivitystaajuuden arvoja mitattiin 50 sekunnin ajan. Testaustilanteessa tallennettiin pienin ja suurin videokuvan päivitystaajuuden arvo sekä testaustilanteen keskimääräinen päivitystaajuus. Edellä mainitut päivitystaajuuden arvot määritettiin Fraps-videonkaappausohjelman päivitystaajuuslaskuria käyttämällä, sillä Simlab Composer ei sisällä päivitystaajuuden laskuria.

Mittaustuloksista laskettiin päivitystaajuuden keskiarvon prosentuaalinen muutos käyttämällä prosentuaalisen muutoksen laskentakaavaa (kaava 1).

$$A = \left(\frac{P_f \cdot 100}{P_a} \right) - 100 \quad (1)$$

Kaavassa 1 A on päivitystaajuuden prosentuaalinen muutos, P_a on päivitystaajuuden arvo toimintoa ennen ja P_f päivitystaajuuden arvo toiminnon jälkeen.

Polygonivähennyksen vaikutuksesta VR-ympäristön keskimääräiseen päivitystaajuuteen saatiin muodostettua kuvaaja, jonka avulla tietoja oli helpompi tarkastella (kuvio 1).

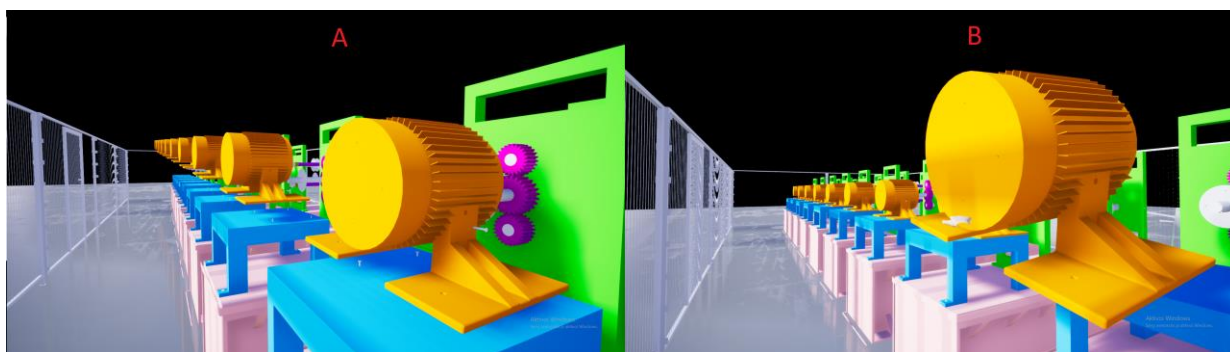


KUVIO 1. Polygonivähennyksen vaikutus päivitystaajuuden arvoon.

(Kuva: Matti Keituri 2018)

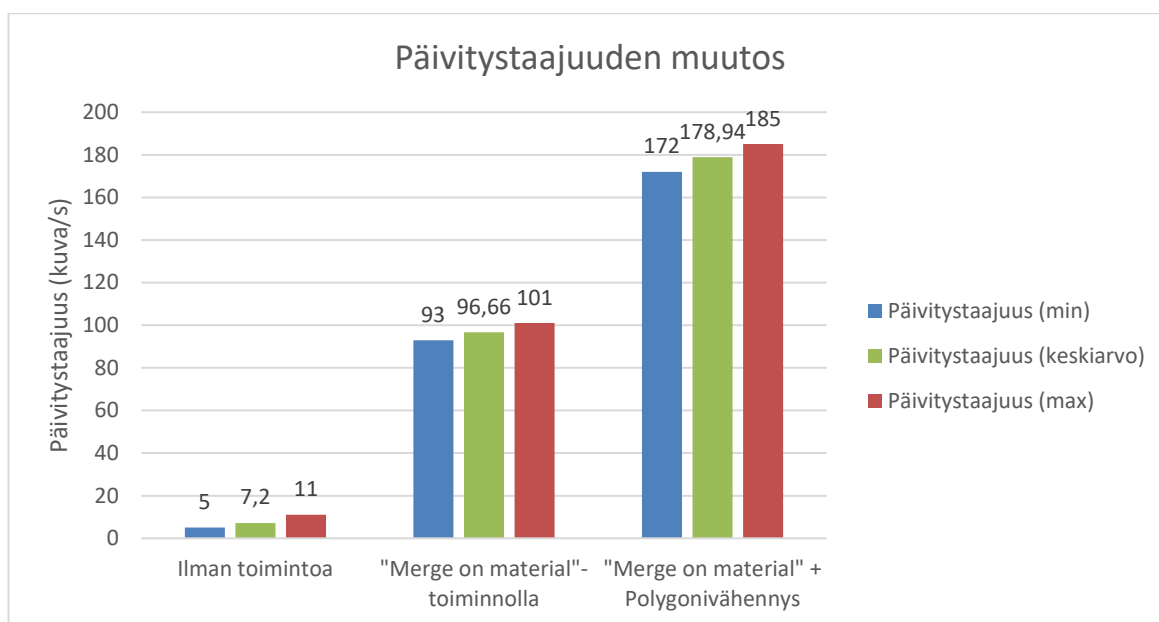
Kokeen tuloksista voidaan päätellä, että toiminto vaikuttaa eniten päivitystaajuuden keskiarvoon ja vähiten minimiarvoon. Päivitystaajuuden suurin arvo ja keskiarvo muuttuivat koetilanteessa eniten 60%:n polygonivähennyksellä. Suurin arvo kasvoi 60%:n vähennysarvoa käytettäessä n. 45,5%, ja keskiarvo n. 58,4%. Testaustilanteessa polygonivähennys ei kasvattanut keskimääräistä virkistystaajuutta videokuvan sujuvan toiston kannalta tarvittavaan 90:n kuvaan sekunnissa vähennyksen arvoilla, joilla malliin ei muodostunut tekstuurireikiä.

Virtuaaliympäristön suorituskykyvaatimuksia voidaan laskea polygnivähennyksen lisäksi ”Merge on Material”-toiminnolla. ”Merge on Material”-toiminto yhdistää kokoonpanon samannimiset osat yhdeksi kappaleeksi, jolloin ohjelman laskettavat parametrit vähenevät. Osien yhdistämistoiminto ei vaikuta kappaleen ulkonäköön, mutta se vaikuttaa ympäristön käyttäjäriippuvaisten toiminnallisuuden käyttöön: Samannimiset osat toimivat yhtenä kappaleena, jolloin yksittäiseen kappaleeseen kohdistunut vaikutus tapahtuu myös muihin samannimisiin kappaleisiin (kuva 18). Yhdistämistoimintoa voidaan käyttää VR-ympäristön staattisiin kappaleisiin vaikuttamatta ympäristön toimintaan. Polygonien vähennystoimintoa ja osien yhdistystä voidaan käyttää samanaikaisesti ympäristön optimointiin, jolloin ympäristön staattisten osien vaikutus ympäristön toistettavuuteen ja ulkonäköön voidaan minimoida.



KUVA 18. Mallin toiminta osien yhdistämistoimintoa ennen (osio B) ja jälkeen (osio A).
(Kuva: Matti Keituri 2018)

Yhdistämistoiminnon ja edellä mainittujen toimintojen yhdistelmän vaikutusta päivitystaajuuksien arvoon testattiin yhdistämällä kolmen profiilikoneen kokoonpanon osat sekä lisäämällä 60%:n polygonivähennyksen. Toimintojen vaikutukseen testattiin samalla animaatiolla kuin polygonivähennyksen vaikutuksen tutkimuksessa. Kokeessa määritettiin Frapsilla päivitystaajuuden vähimmäis- ja enimmäisarvot sekä päivitystaajuuden keskiarvo. Toimintojen päivitystaajuuden vaikutus on esitetty seuraavassa kuvassa (kuvio 2).



KUVIO 2. Yhdistämistoiminnon ja polygonivähennyksen yhdistelmän vaikutus päivitystaajuuteen. (Kuvio: Matti Keituri 2018)

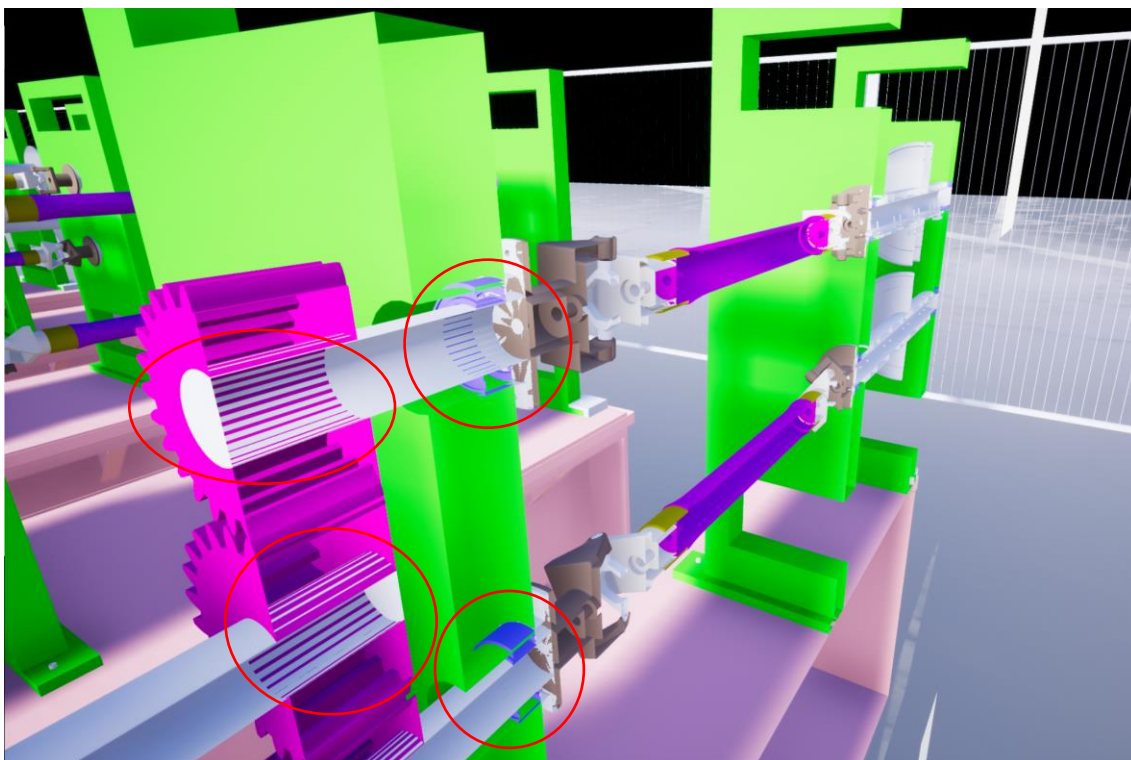
Tuloksista voidaan havainnoida, että osien yhdistämistoiminto vaikutti videokuvan päivitystaajuuteen polygonivähennystä enemmän. Yhdistämistoimintoa käytettäessä päivitystaajuuden keskiarvo kasvoi 89,46 kuvaa sekunnissa ja suurin arvo 90 kuvaa sekunnissa. Molempia toimintoja käytettäessä videokuvan keskimääräinen päivitystaajuus kasvoi 171,74 kuvaa sekunnissa. Yhdistämistoimintoa käytettäessä saatiin videokuvan keskimääräinen virkistystaajuus suositeltua arvoa suuremmaksi.

Osien yhdistämistoiminnolla oli tutkimuksessa huomattavasti suurempi vaikutus päivitystaajuuden arvoihin kuin polygonien vähennystä käytettäessä.

Yhdistämistoiminnon toimintaperiaatteen vuoksi sitä voitiin käyttää vain mallin liikkumattomien osien suorituskykyvaatimusten optimointiin. VR-ympäristön interaktiivisten osien optimointiin voidaan käyttää polygonien vähennystoimintoa. Päivitystaajuusmittausten lopputulosten perusteella voidaan vaikuttaa toimintojen yhteiskäytöllä suuresti videokuvan päivitystaajuuteen ja ympäristön toimivuuteen.

Poikkileikkaustoiminnon käyttö mallin todentamisessa

Kappaleessa 5 esitettyä poikkileikkaustoimintoa voidaan hyödyntää mallin osien esittelyn lisäksi mallin todennuksessa. Composerin soveltuvuutta mallin todennukseen tutkittiin lisäämällä osiin mittavirheitä (kuva 19). Kohdat, joissa päällekkäiset tekstuurit näkyvät ovat ympyröity kuvassa punaisella.



KUVA 19. Mallin mittavirheiden tarkastelu poikkileikkaustoimintoa käyttämällä.

(Kuva: Matti Keituri 2018)

Kokoonpanosta muutettiin päätyseinän akselireikien kokoa laakerin ulkohalkaisijaa pienemmäksi sekä voimansiirtoon käytettyjen hammasrattaiden sisähalkaisijat samaksi kuin rattaiden akselien halkaisija. Mittavirheet esiintyvät mallissa laakerien, akselien, päätyseinän ja hammasrattaiden tekstuurien päällekkäisyytenä. Reiän halkaisijaa pienempiä laakereita käytettäessä poikkileikkaustoiminnolla mittavirhe näkyi mallista heikosti. Kokoonpanon pienten osien kuten ruuvien ja mutterien todentaminen poikkileikkaustoimintoa ei voitu käyttää. Edellä mainituista syistä Composerin poikkileikkaustoimintoa voitiin käyttää vain rajallisesti mallin yksinkertaisten ja suurten mittavirheiden todentamiseen.

8 POHDINTA

Tämän työn tavoitteiksi määriteltiin alussa HMD:iden ja virtuaaliympäristön luontiin käytettävien ohjelmien kartoitus, katselusolussa käytettävän tietokoneen mitoitus sekä testiympäristön tuottaminen käyttämällä CAD-mallia. Tämän työn tärkeimpinä osuuksina olivat VR-ohjelmiston kartoitus (liite 1) ja valinta sekä tietokoneen suorituskyvyn testaus käyttämällä kappaleessa 5 (VR-ympäristön luonti) esitettyjä malleja.

Aiheena virtuaalitodellisuuden käyttö mekaniikkasuunnittelussa oli kirjoittajalle entuudestaan tuntematonta alaa, sillä tekniikkaa on alettu hyödyntämään osana suunnittelua ja simulointia vasta lähivuosina. Opinnäytetyön teko aloitettiin perehtymällä VR-tekniikan ja CAD-suunnittelun keskeisiin käsitteisiin sekä termeihin, jotta voitiin muodostaa tarkka kokonaiskuva projektin osa-alueista ja katselusolun suunnittelutyön vaatimuksista. Koska tutkituista VR-ohjelmista kaikki eivät tukeneet jokaista Suomessa myytävää HMD:tä, tehtiin HMD:n ja VR-ohjelman valinta samanaikaisesti molempien selvitystöiden lopussa. Lopulliset ohjelmistojen ja laitteiden valinnat tehtiin yhteistyössä yrityksen edustajien kanssa. Tietokoneen komponentit mitoitettiin suunnittelutyön lopuksi yhteistyössä Comatec:n IT-osaston työntekijöiden kanssa. Projektissa käytettyjen komponenttien tekniset tiedot ja laitteisto- sekä tilavaatimukset olivat valmistajien sivuilla ilmoitettu laajasti, minkä vuoksi kartoitustyö ja valintakriteerien määrittäminen onnistui työssä varsin helposti.

Comatec oy:llä ei ole ennestään käytössä VR-tekniikkaa osana mekaniikkasuunnittelun yksiköitä. Tämän vuoksi opinnäytetyön osana tutkittiin myös VR:n mahdollisia käyttökohteita ja valitun VR-ohjelmiston ominaisuuksien käyttöä mallinnuksen sekä mallien liikesimuloinnin osana. Mallin toistettavuuteen VR-tekniikkaa käyttäen vaikutti tietokoneen laskentatehon lisäksi mallin yksityiskohtaisuus ja kokoonpanon osien lukumäärä. Tämän vuoksi haasteellisimpina osina projektia olivat VR-ohjelmiston valinta, testiympäristön suunnittelutyö ja käyttötarkoitukseen sopivan tietokoneen mitoitus.

Opinnäytetyön lopputulokset

Projektin lopputuloksena oli VR-tarkastelusolun suunnitelma ja käyttöönotto sekä valitun ohjelmiston ominaisuuksien tutkinta työssä laaditulla mallilla. Opinnäytetyön tavoitteiksi määriteltiin ohjelmiston ja laitteiston helppokäyttöisyys sekä mallien nopea siirto suunnitteluohjelmasta VR-ympäristön luovaan ohjelmaan.

CAD-mallin siirrolle sekä kappaleessa 6 esitellyille ominaisuuksille laadittiin työn lopuksi yrityksen henkilöstölle käyttöohjeet. Laitteiden ja ohjelmistojen toimivuus testattiin käyttöönotossa Comatecin laatimilla kokoonpano- ja laitosmalleilla. Testauksessa käytettiin CATIA:lla, NX:llä, Solidworksilla sekä Navisworksilla luotuja malleja. Mallien osien lukumäärä vaihteli n. 1000 osasta n. 40000 osaan. Suurimmilla malleilla kuvan päivitystaajuus laski 5–10 kuvaan sekunnissa. Virtuaaliympäristön toistettavuus saatiin parannettua yhdistämällä mallin osat sekä vähentämällä 20 % mallin polygonimäärästä. Polygonivähennys ei vaikuttanut merkittävästi mallin ulkonäköön.

Opinnäytetyössä valittu ohjelmisto ja HMD todettiin työn lopussa käydyssä arviointikeskustelussa täyttävän Comatecin tarkastelusolun halutut ominaisuudet. Kokonaisuudessaan opinnäytetyön lopputulokset täyttivät työn alussa määritetyt tavoitteet.

Projektin jatkokehitysehdotukset

VR:n käyttö osana kolmiulotteisten CAD-mallien esittelyä ja todennusta on tekniikan alana opinnäytetyön kirjoitusaikana varsin uusi. Monet teollisuudessa käytetyt suunnitteluohjelmistot ovat esitelleet vuosina 2017–2018 pidetyillä tekniikkamessuilla suunnitteluohjelmistoihinsa lisäominaisuutena tulevia VR-katselulaitteiden tukia. Suurin osa kartoitetuista VR-ohjelmistoista tukivat pientä osaa suunnitteluohjelmistossa määritellyistä mallin ominaisuuksista ja toiminnallisuuksista.

Suunnitteluohjelmistojen tulevan VR-tuen ja ohjelmassa määritettyjen toiminnallisuuksien lisääntyvän käytön myötä VR:n ja kolmiulotteisen CAD-mallinnuksen muuttuneen lähivuosina suuresti. Tekniikan mahdollinen nopea muuttuminen pyrittiin ottamaan huomioon tietokoneen mitoituksessa ja ohjelmistovalinnassa. Monet ohjelmistovalmistajat ilmoittivat viime aikoina pidetyillä tekniikkamessuilla lisäävänsä VR-tuen lisäksi SLI-ajon tuen tulevaisuudessa. Tämän vuoksi työssä valitun tietokoneen näytönohjaimeksi valittiin yhden tehokkaamman ja

kalliimman näytönohjaimen sijaan kaksi halvempaa ja heikkotehoisempaa ohjainta. Näytönohjainten yhteisajolla voidaan G3D Mark-tulosten perusteella saada yksittäistä tehokkaampaa ohjainta parempi suorituskyky.

Projektin jatkokehityksen kohteena voisi toimia suunnitteluohjelmien katselulaitteiden tuen julkaisun jälkeen VR:n käytön mahdollisuuksien tutkiminen CAD-suunnitteluohjelmistossa. VR-tekniikan kehittyessä ympäristön luontiin käytettävän ohjelmiston vaihdolla voidaan mahdollisesti nopeuttaa ja yksinkertaistaa ympäristön luontia. Ohjelmiston helppouden lisäksi suunnitteluohjelmiston suora tuki saattaa lisätä suunnitteluohjelmistossa määriteltyjen ominaisuuksien käyttöä, jolloin mallin ominaisuudet voidaan esittää tarkemmin VR-tekniikkaa käyttämällä.

Ajankäyttö opinnäytetyössä

Seuraavassa kuviossa on esitetty projektin osa-alueisiin käytetty aika prosenttiosuuksina (kuvio 3). Ajankäytön arviot perustuvat projektin alussa määriteltyyn aikatauluun sekä Solidworks-, Composer- ja Word-ohjelmien käyttötunteihin sekä sähköposti- ja puhelinhaastattelujen keston. Projektiin ja raportointiin kului yhteensä n. 410 tuntia.



KUVIO 3. Ajankäyttö opinnäytetyössä. (Kuva: Matti Keituri 2018)

LÄHTEET

Aaron, P. Wojciakowski, M. Zeller, M. 2017. Inside-Out Tracking. Luettu 20.1.2018
<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/enthusiast-guide/tracking-system>

Acer. Acer Windows MR. Luettu 15.1.2018
<https://www.microsoft.com/en-us/store/d/acer-windows-mixed-reality-headset-with-motion-controllers/8ttsf1q97hkp?activetab=pivot:overviewtab>

Autodesk. Autodesk VRED. Luettu 6.1.2018
<https://www.autodesk.com/products/vred/overview>

Britannica. 1998. Steroscopy. Luettu 20.1.2018
<https://www.britannica.com/technology/stereoscopy>

Brooks, F. Meehan, M. Razzaque, S. Whitton, M. 2003. Effect of Latency on Presence in Stressful Virtual Environments. Luettu 26.3.2018.
<http://www.cs.unc.edu/Research/eve/papers/EVEAuthored/2003-VR2003-Meehan.pdf>

Comatec Group. N.d. Yritysesittely. Luettu 26.1.2018.
<https://www.comatec.fi/toimialat/>

Concurrent Engineering. 2013. An Introduction to Parametric Modelling.. Luettu 21.3.2018
www.concurrent-engineering.co.uk/Blog/bid/92175/An-Introduction-to-Parametric-Modelling

Courgeon, S. Kansainvälisen myynnin päällikkö. 2018. Techviz presentation. Sähköpostiviesti. scourgeon@techviz.net. Luettu 16.1.2018

Develop3D. 2017. Vr for design & engineering. Luettu 16.1.2018
<http://www.develop3d.com/features/vr-for-design-engineering>

DigitalTrends. 2017. 8 Virtual Reality milestones that took it from sci-fi to your living room. Luettu 16.1.2018
<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-virtual-reality/>

Emulate3D. Demo3DVR. Luettu 6.1.2018
<https://www.demo3d.com/demo3dvr-solidworks/>

Gourlay, M. Held, R. 2017. Frontline Technology: Head-Mounted-Display Tracking for Augmented and Virtual Reality. Information Display 54 (1), 6–9.

HTC. HTC Vive. Luettu 14.2.2018
<https://www.vive.com/us/product/vive-virtual-reality-system/>

Incredible Graphics. 2016. Polygon Graphics. Luettu 23.3.2018
<https://graficsweb.wordpress.com/2016/11/09/polygon-graphics/>

IndiaCADworks. 2014. A Closer Look at CAD Neutral File Formats. Luettu 23.1.2018
<https://www.indiacadworks.com/blog/a-closer-look-at-cad-neutral-file-formats/>

Irai. n.d. Virtual Universe Pro. Luettu 6.1.2018
<http://www.virtual-universe-irai.com/en/products/>

Iris. n.d. The Importance of Frame Rates. Luettu 26.3.2018
<https://help.irisvr.com/hc/en-us/articles/215884547-The-Importance-of-Frame-Rates>

Kuang-Hua, C. 2014. Product Design modeling using CAD/CAE. 1. painos. Burlington: Elsevier Science 2014.

Koch, S. Tekninen johtaja. 2018. Trial version of your software MoreViz. Sähköpostiviesti. skoch@more3d.com. Luettu 18.1.2018

Lenovo. Lenovo Explorer. Luettu 15.1.2018
<https://www3.lenovo.com/us/en/virtual-reality-and-smart-devices/virtual-and-augmented-reality/lenovo-explorer/Lenovo-Explorer/p/G10NREAG0A2>

Lorenz. M. Spranger, M. Reidel, T. Pürzel, F. Wittstock, V. Klimant, P. 2016. CAD to VR – A Methodology for the Automated Conversion of Kinematic CAD Models to Virtual Reality. Luettu 19.1.2018.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115011944>

Logical Increments. 2018. Building a PC for Virtual Reality: Oculus Rift, HTC Vive, and VR Gaming. Luettu 27.3.2018
<http://www.logicalincrements.com/articles/vrguide>

Massart, S. Tutkimus- ja kehityspäällikkö. 2018. Few questions concerning Virtual Universe Pro 3. Sähköpostiviesti. stephane.massart.irai@gmail.com. Luettu 4.1.2018.

Metti, M. 2017. Virtual Reality (VR) / Augmented Reality (AR): Innovation & Technology Transfer. Luettu 8.1.2018.
<https://www.linkedin.com/pulse/virtual-reality-vr-augmented-ar-innovation-technology-metti>

MindScaper. 2016. 3D-Photography / Stereoscopy in a Nutshell. Luettu 8.1.2018
<http://picturehunting.thinkeria.org/stereo/stereo-knowledge/stereo-nutshell/>

Muhanna, A. 2014. Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. Luettu 20.1.2018
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157815000439/pdf?md5=ccba74ffe108214d8a4889de6c0e0eee&pid=1-s2.0-S1319157815000439-main.pdf>

Mitra, A. 2012. How Manufacturers Use 3D CAD Models and 2D CAD Drawings as Sales Enablers. Luettu 15.3.2018.
<https://www.industrialmarketingtoday.com/how-manufacturers-use-3d-cad-models-and-2d-cad-drawings-as-sales-enablers/>

More3D. n.d. MoreViz. Luettu 6.1.2018
<http://www.more3d.com/more3d/index.php?id=235>

Next Reality. 2017. What's the Difference Between AR, VR, and MR?. Luettu 15.3.2018
<https://next.reality.news/news/whats-difference-between-ar-vr-and-mr-0171163/>

Nvidia. n.d. SLI. Luettu 13.3.2018
<https://www.geforce.com/hardware/technology/sli/technology>

Oculus. 2017. Oculus Roomscale – Tips for Setting up a Killer VR Room. Luettu 15.3.2018
<https://www.oculus.com/blog/oculus-roomscale-tips-for-setting-up-a-killer-vr-room/>

Oculus. n.d. Laitteistovaatimukset. Luettu 15.1.2018
<https://support.oculus.com/170128916778795/>

PassMark software. n.d. CPU Mark. Päivitetty 13.3.2018. Luettu 13.3.2018
https://www.cpubenchmark.net/high_end_cpus.html

PassMark Software. n.d. CPU Test Information. Luettu 13.3.2018
https://www.cpubenchmark.net/cpu_test_info.html

PassMark Software. n.d. G3D Mark. Päivitetty 13.3.2018. Luettu 13.3.2018
https://www.videocardbenchmark.net/high_end_gpus.html

PassMark Software. n.d. Video Card Test Information. Luettu 13.3.2018
https://www.videocardbenchmark.net/gpu_test_info.html

Polygon. 2013. Opinion: Stop dwelling on graphics and embrace procedural generation. Luettu 15.3.2018
<https://www.polygon.com/2013/12/10/5192058/opinion-stop-dwelling-on-graphics-and-embrace-procedural-generation>

Power, K. 2012. Polygon Meshes. Luettu 18.3.2018
http://glasnost.itcarlow.ie/~powerk/GeneralGraphicsNotes/meshes/polygon_meshes.html

PWC. 2016. For US manufacturing, virtual reality is for real. Luettu 15.3.2018
<https://www.pwc.com/us/en/industries/industrial-products/library/augmented-virtual-reality-manufacturing.html>

Protolabs. 2017. What is Product Manufacturing Information (PMI)?. Luettu 3.4.2018
<https://www.protolabs.com/resources/blog/what-is-product-manufacturing-information-pmi/>

Razer. n.d. Razer HDK. Luettu 15.1.2018
<http://www.osvr.org/hdk2.html>

Voestalpine SadeF nv. n.d. Open Profiles. Luettu 23.3.2018
<http://www.sadef.com/en/steel-profiles/custom-roll-forming/open-profiles>

Scan2Cad. 2017. CAD in Virtual Reality. Luettu 15.3.2018
<https://www.scan2cad.com/cad/cad-in-virtual-reality/>

Simlab. n.d. Simlab Composer 8. Luettu 6.1.2018

<http://www.simlab-soft.com/index.html>

Symonds. A. Toimitusjohtaja. 2018. Haastattelu 1.2.2018. Haastattelija Keituri, M. Tampere

Tech Crunch. 2015. Oculus App Store Will Require Pre-Approvals, Comfort Ratings, Tax. Luettu 15.3.2018

<https://techcrunch.com/2015/06/12/oculus-app-store/>

TechViz. TechViz XL. Luettu 6.1.2018

<https://www.techviz.net/techviz-xl>

Tuhola, E. Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. 1. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino oy.

Vince, J. 2004. Introduction to Virtual Reality. 1. Painos. Lontoo: Springer Verlag.

Virtalis. n.d. VR 4 CAD. Luettu 15.1.2018

<https://support.oculus.com/170128916778795/>

Virtalis. n.d. Visionary Render. Luettu 15.1.2018

<https://www.virtalis.com/visionary-render/>

Virtual Reality Society. n.d. Head Mounted Display. Luettu 15.3.2018

<https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-gear/head-mounted-displays/>

Virtual Reality Society. n.d. History of Virtual Reality. Luettu 19.1.2018.

<https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>

Visbox. n.d. VisCube C4-4K. Luettu 1.2.2018

<http://www.visbox.com/products/cave/>

Wang, Q. 2017. An Overview of Tracking Technologies for Virtual Reality. Luettu 21.3.2018

<https://www.linkedin.com/pulse/overview-tracking-technologies-virtual-reality-qiaozhi-george-wang>

LIITTEET

Liite 1. VR-ohjelmat ja kartoitetut ominaisuudet

1 (3)

VR-ohjelma	Demo 3DVR	Solidworks Visualize Professional	Autodesk VRED Professional
Tuetut CAD-ohjelmat (Solidworks, Inventor, CATIA, NX)	Solidworks	Solidworks Inventor CATIA V5 NX	Inventor Solidworks CATIA NX
Tuetut neutraalitiedosto-muodot	-	STEP, IGES, JT, 3DXML	
Materiaalitietojen tuonti	Kyllä	Ei	Kyllä
Kinemaattisten tietojen käyttö	Ei hyödynnä	Ei hyödynnä	Ei hyödynnä
Animaatioiden tuonti	Kyllä	Kyllä	
Liikkuminen ympäristössä	Vapaa liikkuminen, Välitön siirtyminen	Ei voi liikkua	Vapaa liikkuminen
Mallin siirto	Toistaa CAD-ohjelmassa	Toistaa CAD-ohjelmassa	Toistaa CAD-ohjelmassa
Lisenssin hinta	802 €	(Ei ilmoitettu)	14755,95 € / vuosi

2 (3)

VR-ohjelma	Simlab Composer 8 Mechanical	Virtual Universe Pro 3	VR 4 CAD
Tuetut CAD-ohjelmat (Solidworks, Inventor, CATIA, NX)	Solidworks Inventor	Solidworks CATIA Inventor	Solidworks Inventor CATIA NX
Tuetut neutraalitiedostomuodot	STEP, IGES, 3D XML, JT	3D XML, VRML	
Materiaalitietojen tuonti	Kyllä	Kyllä (Solidworks) Kyllä (CATIA)	Kyllä
Kinemaattisten tietojen käyttö	Ei	Rajallisesti (Solidworks) Rajallisesti (CATIA)	Ei
Animaatioiden tuonti	Kyllä	Ei	Ei
Liikkuminen ympäristössä	Vapaa liikkuminen, Välitön siirtyminen	Vapaa liikkuminen, Saumaton siirtyminen	Vapaa liikkuminen
Mallin siirto	Lisäosat ja neutraalitiedostomuodot	Tiedoston tuki	Tiedoston tuki
Lisenssin hinta	531,14 € / lisenssi	1400 € / lisenssi	1 132,57 € / vuosi

3 (3)

VR-ohjelma	TechViz XL	MoreViz	Visionary Render
Tuetut CAD-ohjelmat (Solidworks, Inventor, CATIA, NX)	Solidworks Inventor CATIA NX	NX	Solidworks Inventor CATIA NX
Tuetut neutraalitiedosto- muodot			
Materiaalitietojen tuonti	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kinemaattisten tietojen käyttö	Ei	Ei	Kyllä
Animaatioiden tuonti	Kyllä	Kyllä	Ei
Liikkuminen ympäristössä	Vapaa liikkuminen	Vapaa liikkuminen	Vapaa liikkuminen
Mallin siirto	Toistaa CAD- ohjelmasta	Toistaa CAD-ohjelmasta	Tiedoston tuki
Lisenssin hinta	13 000,0 € / vuosi	3499,0 € / lisenssi	17 000,0 € / lisanssi

Liite 2. Polygonivähennyksen ja osien yhdistämistoiminnon testaustilanteen luonnos

